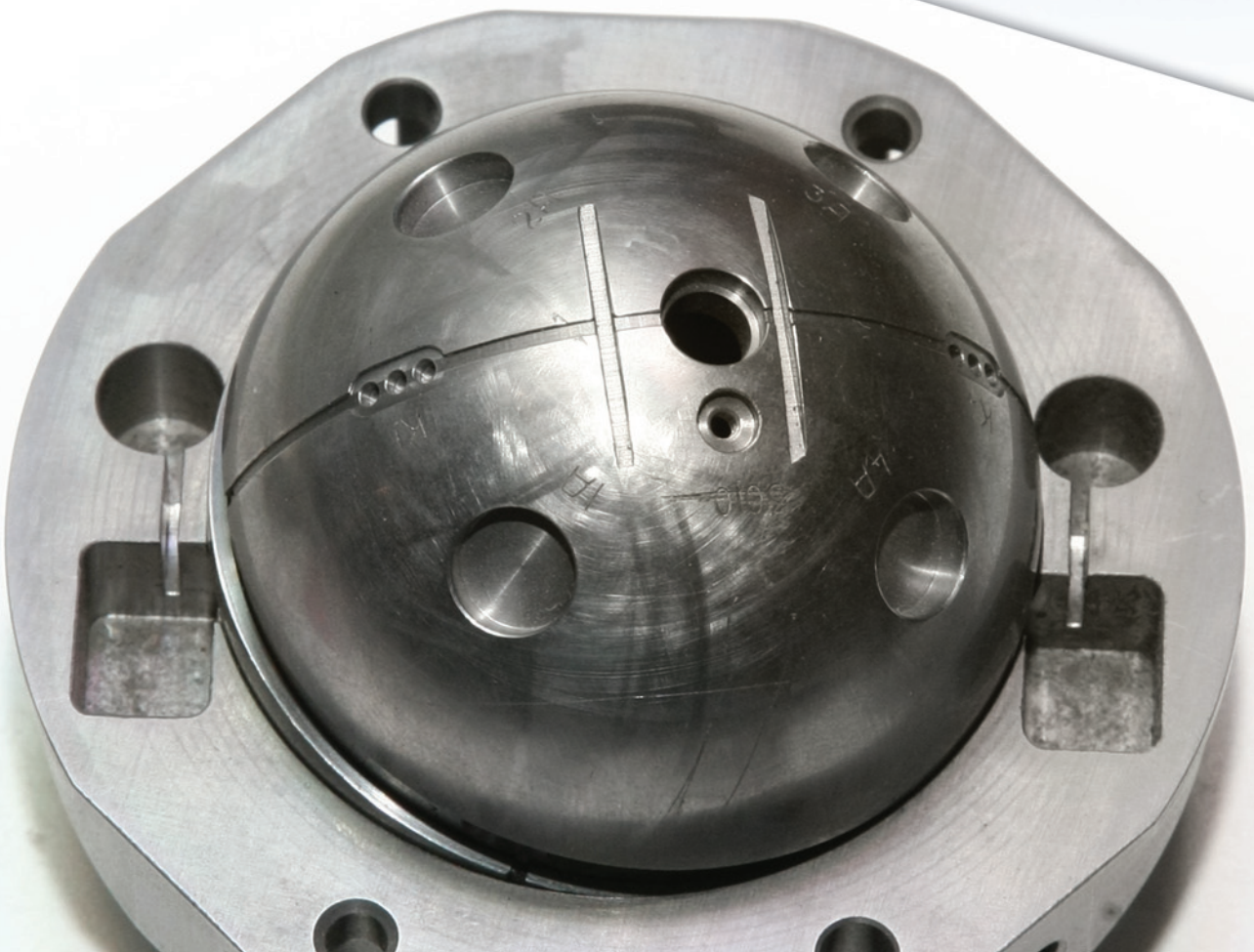
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОСКРЕСЕНСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ



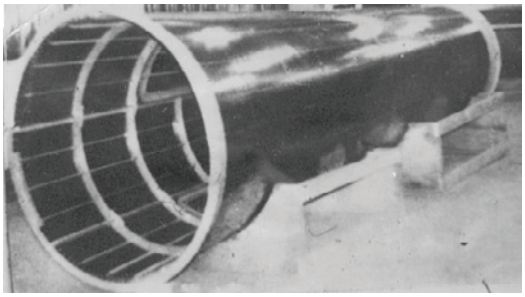
Развитие исследований в области бериллия было обусловлено требованиями ракетно-космической техники и атомной промышленности – создание материалов с малой плотностью, высокими показателями модуля упругости, теплоемкости и механических свойств при повышенных температурах.

С 1946 по 1960 год в ВИАМ впервые в СССР были начаты работы по получению сплавов системы Al–Be и создан опытный плавильный цех, оснащенный вакуумными плавильными печами, что позволило изготавливать сплавы Al-Be в атмосфере аргона и гелия и получить первые положительные результаты. Фундаментальные исследования по изучению сложных диаграмм состояния систем Al–Be–Mg, Al–Be–Mg–Zn и т.д. позволили уточнить оптимальные составы и свойства широкой гаммы сплавов с содержанием бериллия до 80%.

В 1958 году разработана технология отливки слитков из сплава АБМ1 в промышленных условиях.

В конце 60-х годов с технической помощью ВИАМ было организовано промышленное производство слитков на Ульбинском заводе.

С 1960 по 1975 год разработаны технологические основы сварки и пайки бериллия и его сплавов. Применены полуфабрикаты из сплавов АБМ в опытных



Отсек фюзеляжа из сплава АБМ для экспериментального самолета КБ Яковлева

Детали гироскопа навигационной системы И-21

конструкциях КБ М.К. Янгеля и В.М. Челомея. Установлены закономерности влияния бериллия в качестве модифицирующей добавки на физико-механические свойства алюминиевых, магниевых и никелевых сплавов.

В 1978 году, учитывая важность работ по широкому применению бериллия и его сплавов в авиационной и ракетно-космической технике, приказом МАП – 45 от 10 марта 1975 года, введен в эксплуатацию Воскресенский экспериментально-технологический центр по специальным материалам (филиал ВИАМ) – для разработки материалов на основе бериллия и технологий их обработки, изготовления опытных партий полуфабрикатов и изделий из них.

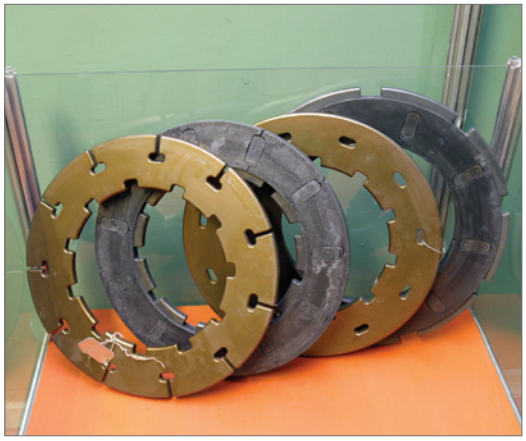
Широкое применение бериллия в аэрокосмической технике сдерживалось его высокой чувствительностью к концентраторам напряжений, низкой пластичностью при повышенных температурах (красноломкость), выделением токсичных пыли и аэрозолей при механической и горячей обработке, высокой коррозионной активностью во влажных средах.

Задачи были решены после проведения уникальных научных экспериментов и разработки директивных пооперационных технологий изготовления изделий из бериллия и его сплавов, включающих следующие этапы:

- выбор химического и фракционного составов исходных бериллиевых порошков;
- вид, последовательность операций обработки давлением, степень деформации;
- режимы и вид термообработки заготовок;
- вид и режимы снятия дефектного слоя;
- неразрушающий контроль;
- нанесение системы защитных покрытий.

С 1975 по 1995 год проведены работы по применению бериллия с покрытиями (высокотемпературное алитирование, детонация плазма) в деталях гироскопов навигационных систем, а также

Рамки остекления космического корабля «Буран»

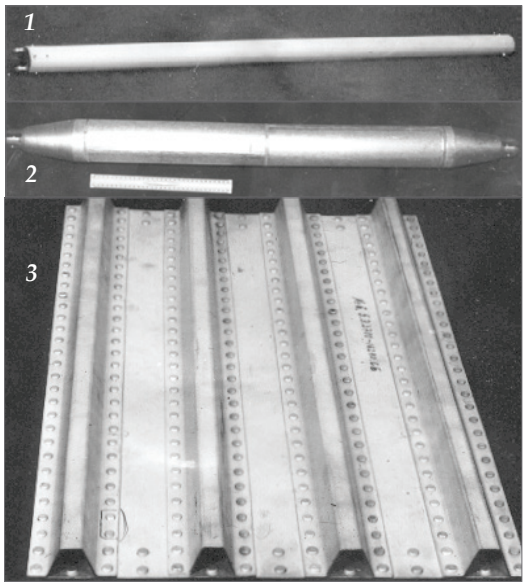


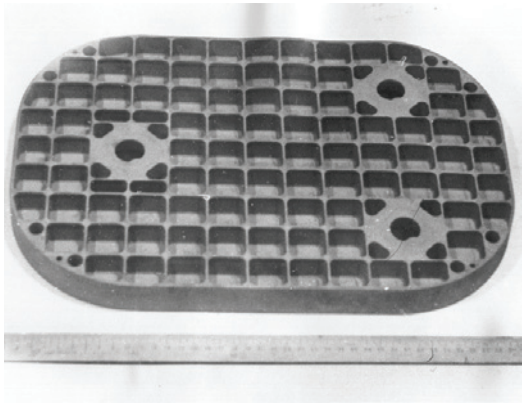
Тормозные диски космического корабля «Буран»

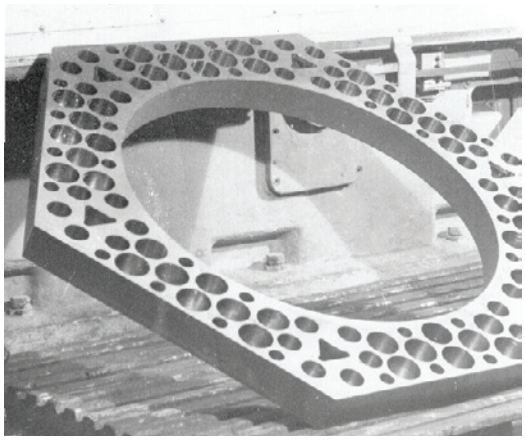
проведены работы по получению бериллийсодержащих сталей и бериллиевых бронз. Для космического корабля «Буран» были изготовлены крупногабаритные (1200 мм) рамки остекления (опытная партия), разработан сорт бериллия ТШГТ для тормозов и изготовлены 10 комплектов тормозных дисков, в которых бериллий использовался в качестве силового каркаса с разработанной защитой от высокотемпературной газовой (760°С) и контактной (с углеродом) коррозии. Была разработана технология изготовления облегающих отверстий (с защитой от коррозии) в круп-

Космический корабль «Буран»

Изделия, примененные в конструкции космического корабля «Буран»: *1* – экспериментальный вал из сплава АБМ-4; *2* – экспериментальный сварной раскос из сплава АБМ-1; *3* – экспериментальная клепаная панель со стрингерами из сплава АБМ-1







Корпуса зеркал

ногабаритных корпусах зеркал и несущих конструкций телескопов для фотографических систем, в том числе работающих при криогенных температурах на борту летательных аппаратов или сканирующих устройствах.

С 1995 по 2012 год изготовлена опытная партия проволоки из сплава БрБ2. Разработана технология изготовления бериллиевых фольг (толщина 0,01–0,15 мм, размером до 100 мм), вакуумплотных окон с защитным покрытием применяющихся в медицинских приборах (томография, флюрография, мамография), приборах таможенных служб, промышленности (счетчики, приборы рентгенофазового анализа, контроль сварных швов).

Выходные паяные рентгеновские окна

НАУЧНАЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВТЭЦ ВИАМ

Отсутствие широкого производства бериллия в России привело к переориентации в 2000 году Воскресенского филиала ВИАМ на выпуск высокотехнологичной продукции из специальных материалов (по проекту на филиале разрешен выпуск ~6–8 тонн изделий из бериллия и его сплавов).

Проведение научно-исследовательских работ, заключение долгосрочных договоров с ЗАО «Светлана-Рентген», ОАО НПП «Буревестник» позволило

Электроэрозионный вырезной станок с ЧПУ ЭВС-100

филиалу выпускать высокотехнологичную продукцию даже в 90-е годы, когда фактически прекратилось финансирование.

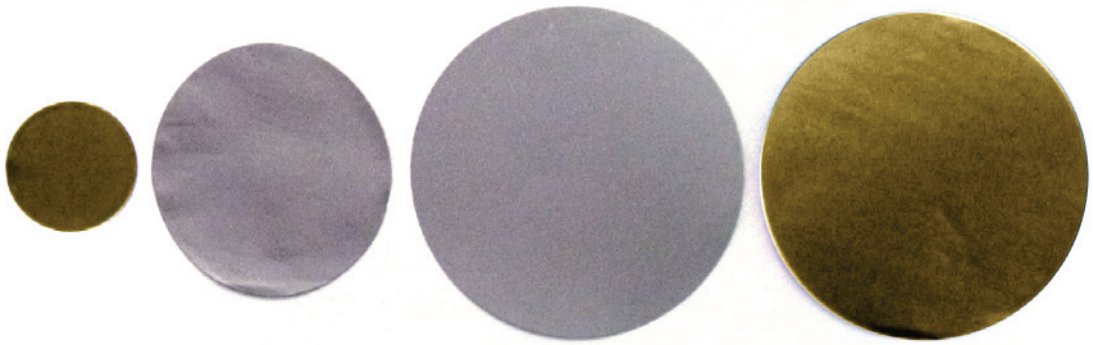
Впервые в России Воскресенский филиал перешел на эрозионную резку бериллия (вместо фрезеровальных работ), что позволило наладить для промышленности серийный выпуск дисков и пластин толщиной >200 мкм. В результате сократились расход бериллия и трудоемкость процесса.

Следующим этапом по выпуску более высокотехнологичных деталей стало сотрудничество с фирмой «Philips» (Нидерланды) по выпуску паяных рентгеновских окон (2002 г.). В ВЭТЦ были созданы участки механической обработки, пайки, контроля, эрозионной резки, гальваники, оформлены технологические рекомендации и инструкции на процессы. Получен «Сертификат аудита поставщика» в иностранную фирму.

Разработаны директивные технологические процессы пайки рентгеновских бериллиевых окон (4 вида) с монелем, нержавеющей сталью, медью с применением серебросодержащих и сереброзаменяющих припоев. На бессеребряный припой получен патент РФ. Все технологическое оборудование, задействованное в процессе, было сертифицировано, получено 4 патента РФ. Пайка специальным припоем обеспечивает герметичность паяных окон, термическую стойкость паяных соединений, исключает охрупчивание сварных соединений.

Была разработана и внедрена система защитных покрытий, обеспечивающая выпуск экологически безопасных изделий – рентгеновских вакуум-плотных бериллиевых окон.

В 2008 году закончен цикл работ по разработке технологии диффузионной сварки разнородных соединений технического спеченного бериллия с монелем, медью, нержавеющей сталью (без подслоя, с промежуточным подслоем) с получением вакуум-плотных соединений ($\sigma_в$=350 МПа). Уровень разработок в области соединения бериллия с медным сплавом



Фольги рентгеновские вакуум-плотные толщиной 10 мкм разного диаметра с защитным покрытием и без него

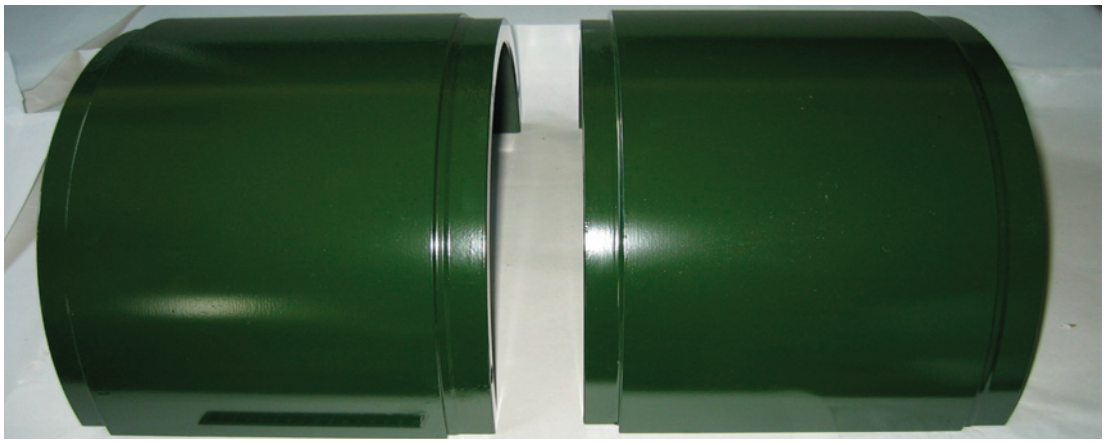
соответствует современным достижениям зарубежных фирм «Brush Wellman» (США), «Sandia National Laboratories» (США).

Впервые в стране на оснастке с использованием эффекта разности ТКЛР свариваемых материалов диффузионной сваркой бериллия с монелем получены вакуум-плотные соединения.

Разработанная в 2009 году технология изготовления радиационно-прозрачной бериллиевой фольги (толщина 0,01–0,15 мм, геометрическим размером до 100 мм, $\sigma_в$=350–450 МПа, δ=1,5–3%) позволила освоить серийный выпуск изделий для предприятий России, использующих их в приборах для медицины (флюорография, томография), таможенных служб, промышленности (счетчики, приборы рентгенофазового анализа, контроль сварных швов). Технология защищена патентом РФ, получившим награды на международных выставках инновационных технологий во Франции (серебряная медаль) и КНР (бронзовая медаль).

Серебряная медаль (Франция)

Бронзовая медаль (КНР)



Детали из бериллия с покрытием ВЭС-5П

Совместно с лабораторией «Технологические покрытия и керамоподобные материалы» ВИАМ выполнена работа по применению системы покрытий для защиты деталей из бериллия. Применение защитных покрытий на бериллии обеспечило повышение коррозионной стойкости и экологической безопасности изделий при их эксплуатации. На основании выполненных работ заключено несколько договоров с предприятиями Минатома, получено два патента.

В настоящее время ВЭТЦ ВИАМ – это единственный в России и СНГ центр с замкнутым металлургическим производством и механической обработкой бериллия и бериллийсодержащих сплавов, обладающий технологиями по утилизации и переработке отходов.

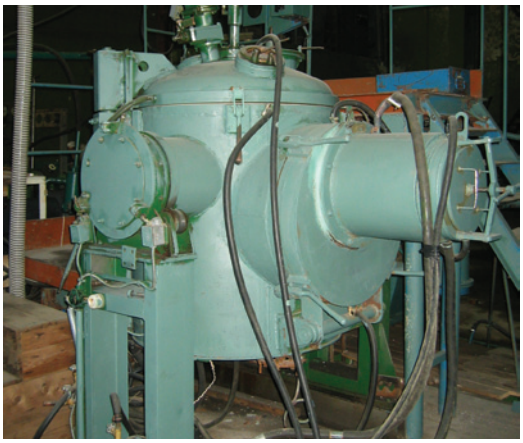
Получение полуфабрикатов из бериллия и сплавов на его основе производится по следующим направлениям: литье, порошковая металлургия, обработка давлением, механическая обработка, защитные покрытия при горячей обработке и последующей эксплуатации и физико-химические исследования.

Центр имеет три корпуса: лабораторный, производственный, газотермических покрытий, а также испытательную и производственную базы. Производственная зона включает в себя следующие участки:

- механической обработки;
- плавки и литья;
- обработки давлением;
- пайки и сварки;
- электроэрозионной резки;
- рентгеновской дефектоскопии;
- термообработки;
- нанесения гальванических покрытий;
- производства угленов;
- производства препрегов;

а также лаборатории:

- металлографических исследований;
- химическую.



Вакуумная плавильная печь ИСВ 016

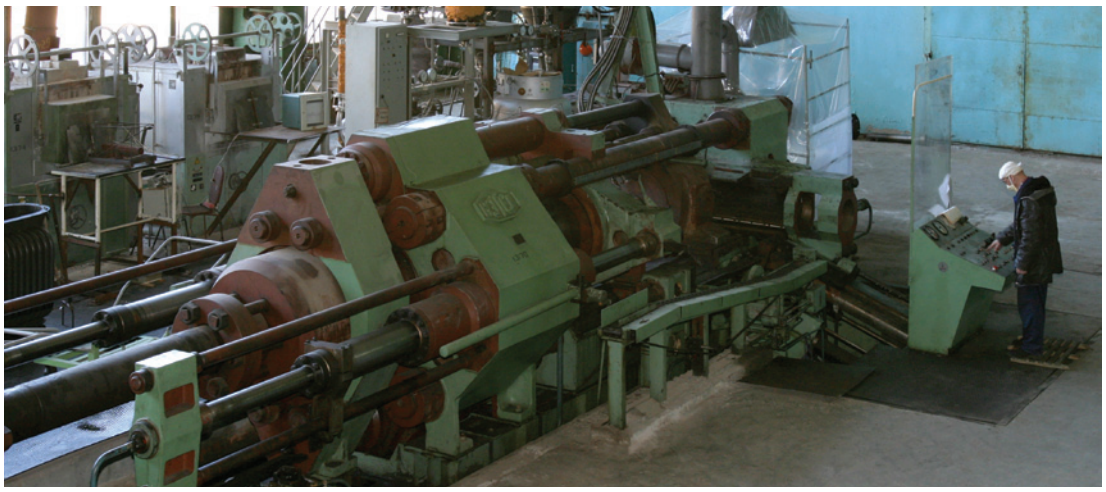
Вакуумная плавильная печь «2039»

Центр оснащен оборудованием, которое позволяет проводить исследования на высоком научно-техническом уровне и выпускать различные вакуум-плотные изделия из бериллия. Вся продукция поставляется по нормативно-технической документации и защищена патентами РФ.

В перспективе планируется приобретение современного прокатного оборудования, печей (вакуумных и термических) и обрабатывающего центра, которые позволят Воскресенскому филиалу ФГУП «ВИАМ» выйти на передовые позиции по выпуску вакуум-плотных бериллиевых фольг толщиной <150 мкм, пластин, дисков, рентгеновских паяных окон с защитным покрытием и изделий из бериллия.

Комплексные испытания сплавов системы Al—Be—Mg показали, что они значительно превосходят промышленные легкие сплавы по усталостной прочности, выносливости — в 40—50 раз, обла-

Горизонтальный пресс ПА-8841 (1250 тс)



Вакуумная печь СНВЛ

Течеискатель гелиевый ADIXEN/ALCATEL ASM 142

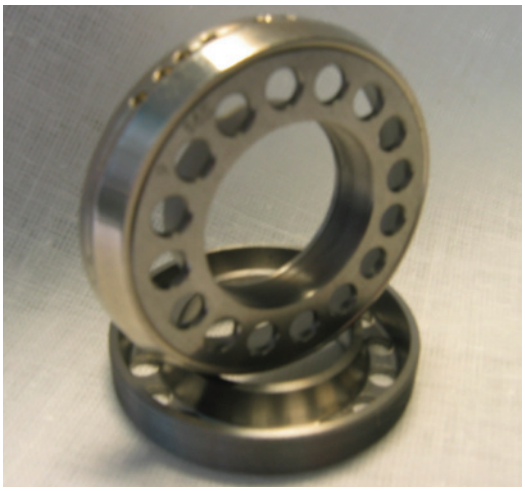
дают более низкой скоростью распространения усталостных трещин. Это объясняется резко выраженной гетерогенной структурой сплавов с обширной поверхностью раздела матрицы и бериллийсодержащей фазы, тормозящей развитие трещин. К достоинствам этих сплавов относятся также их хорошая свариваемость, высокие теплопроводность и теплоемкость. По отработанной технологии из алюминий-бериллиевых сплавов в промышленном масштабе производится достаточно широкий ассортимент изделий: листы, профили, штамповки, поковки, прессованные изделия. Применение высокомодульных сплавов в конструкциях самолетов и космических объектов позволяет снизить массу элементов конструкций на 40—50% и повысить их эксплуатационную надежность.

Работы по применению легких высокомодульных сплавов будут существенно интенсифицироваться по мере завершения строительства обогатительного и металлургического предприятия по производству бериллия на Ермаковском месторождении (Читинская область).

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ УЧАСТКИ И НАУЧНЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА

Участок механической обработки бериллия и его сплавов оснащен металлообрабатывающим оборудованием, позволяющим выпускать с точностью до 5 мкм следующие виды продукции:

- бериллиевые маховики для узлов гироскопических приборов;
- детали гироскопических приборов с нанесенным износостойким покрытием;
- силовые каркасы тормозных бериллиевых дисков;



Маховики для гироскопов

- рамки остекления;
- бериллиевые вакуум-плотные пластины и диски толщиной от 100 до 300 мкм.

Участок плавки и литья бериллиевых сплавов оснащен вакуумными индукционными печами, позволяющими выпускать следующие виды продукции:

- алюминиевые сплавы, содержащие бериллий (Al—Be лигатуры, сплавы типа АБМ);
- медные сплавы, содержащие бериллий (Cu—Be лигатуры, бериллиевые бронзы БрБ2,5; БрБ2; БрБНТ1,9; БрБНТ1,7);
- жаропрочные коррозионностойкие бериллийсодержащие стали типа ВНС-32ВИ.

Участок обработки металлов давлением оснащен кузнечно-прессовым, прокатным и волочильным оборудованием, позволяющим выпускать следующие виды продукции:

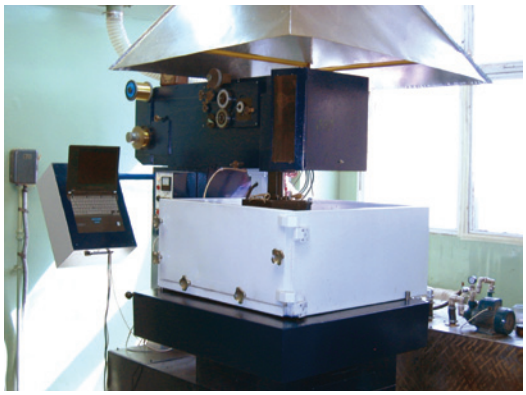
- прутки, полосы, профили, трубные заготовки;
- бериллиевую проволоку диаметром до 0,5 мм;
- проволоку из бериллиевой бронзы диаметром 0,8—1 мм;
- бериллиевые фольги толщиной 10—150 мкм.

Участок пайки и сварки оснащен вакуумными печами СНВЛ. Разработанные технологии пайки бериллия с другими конструкционными материалами (медью, нержавеющей сталью, сплавом монель) позволяют осуществлять вакуумную пайку деталей приборов авиакосмической техники, радиационно-прозрачных окон для медицинской техники, датчиков излучения для исследовательской аппаратуры. Пайка осуществляется при температурах 750—950°С в вакууме ($1—10^{-5}—5—10^{-6}$ мм рт. ст.) серебряными и сереброзаменяющими припоями.

Вакуум-плотные паяные бериллиевые окна:

- паяные рентгеновские бериллиевые окна диаметром 24—52 мм, толщиной 1—4 мм (бериллий—монель);
- паяное окно компьютерного томографа (бериллий—медь);
- паяные окна приборов для физических исследований (бериллий—нержавеющая сталь).

Участок эрозионной резки бериллия и его сплавов оснащен



Станок вырезной электроискровой с ЧПУ СВЭИ-2

Вакуумная термическая печь СШВ-15-15/9

оборудованием с числовым программным управлением, позволяющим осуществлять раскрой бериллиевых заготовок по заданной программе. Размеры вырезаемых деталей: 190х60х(≥0,1) мм, диаметр 80 мм, толщина ≥0,1 мм.

Участок рентгеновской дефектоскопии оснащен оборудованием, позволяющим проводить неразрушающий контроль изделий (слитков, деформированных полуфабрикатов, сварных соединений) из бериллия и его сплавов. Оборудование позволяет получать изображения с высоким пространственным разрешением.

Участок термической обработки оснащен оборудованием для вакуумной термической обработки бериллия и бериллийсодержащих сталей:

Размер рабочего пространства печи: 1500Х1500 мм.

Рабочий вакуум: $1—10^{-5}$ мм рт. ст.

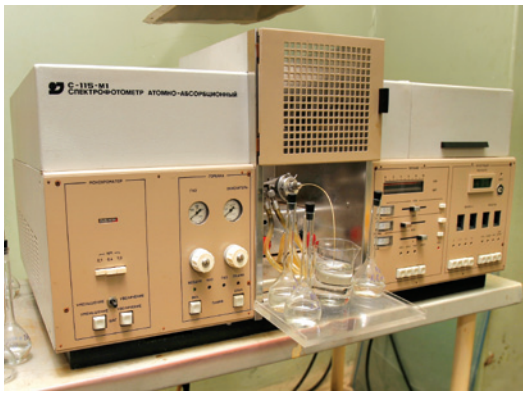
Максимальная рабочая температура: 900°С.

Гальванический участок предназначен для выполнения операций химического фрезерования, нанесения покрытий под пайку и защитного универсального покрытия ВЭС-5 на изделия из бериллия и его сплавов.

Покрытие ВЭС-5 представляет собой двойную систему защиты от высокотемпературной газовой и контактной коррозии и обеспечивает эффективную защиту деталей из бериллия от окисления и сублимации токсичных оксидов бериллия в процессе длительных нагревов до температуры 950°С.

Полипропиленовые ванны для нанесения гальванических покрытий

Металлографический микроскоп «NEOPHOT 21»



Спектрофотометр атомно-абсорбционный С-115-М1

В **лаборатории металлографических исследований** на оборудовании фирмы «Buehler» изготовляются микрошлифы из бериллия, бериллиевых фольг, бериллийсодержащих сталей и сплавов. Оборудование позволяет производить холодную заливку компаундом и ступенчатую шлифовку/полировку с применением на финальной стадии ультрадисперсных алмазных суспензий с фракцией абразивных частиц размером до 0,05 мкм.

Микроструктура разрабатываемых материалов изучается с помощью металлографического микроскопа «NEOPHOT 21» и анализируется на компьютере с помощью программного обеспечения для анализа изображений.

Шлифовально-полировальный станок MetaServ 3000 с полуавтоматической насадкой Vector LC

В **химической лаборатории** проводится анализ бериллия, бериллийсодержащих сталей и сплавов на определение процентного содержания основных легирующих элементов и примесей:

- входной контроль бериллия и других материалов;
- бериллийсодержащих сплавов на основе алюминия;
- бериллийсодержащих сплавов на основе меди;
- бериллийсодержащих сталей;
- растворов после гальванической обработки изделий из бериллия.

УЧАСТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ НАУГЛЕРОЖЕННОГО ВОЛОКНА

Волокно необходимо при изготовлении конструкционных ПКМ для изделий авиационной и ракетно-космической техники,

Участок производства науглероженного волокна

Установка резки волокна ТЦ 357.00.00.00

а также для создания широкополосных радиопоглощающих материалов гражданского назначения.

На пропиточной машине лаком, растворенным в ацетоне, происходит предварительная пропитка вискозного волокна. Конструкция пропиточной машины позволяет в процессе производства контролировать и регулировать скорость прохождения жгута, режим сушки и другие необходимые параметры.

Процесс карбонизации волокна происходит в печах типа ВШП-1000/9,5 в автоматическом программируемом режиме

Пропиточная машина

(до 20-ти программ термообработки). Существует также возможность ручного управления.

Науглероженное волокно нарезается на рубочной машине ТЦ 357.00.00.00. в соответствии с требованиями Заказчика. Выпускаемая продукция соответствует ТУ 6-06-487—90.

Кроме изготовления науглероженного волокна, в вакуумируемых печах ВШП-1000/9,5 возможно проводить термообработку до температуры 900°С различных изделий для авиационной, ракетно-космической промышленности и электроники.

УЧАСТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ, УГЛЕРОДНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Благодаря уникальным физико-механическим свойствам при малой плотности и высокой выносливости, превосходящей в 2—3 раза выносливость металлических

сплавов, полимерные композиционные материалы нашли широкое применение в планерах самолетов (Ил-96, Ту-204, Ту-214, Бе-200, Ан-124, Ан-70 и др.), где они используются в качестве обшивочных материалов элементов управления, крыльев и хвостового оперения, а также для упрочнения деталей внутреннего силового набора.

Препреги для ПКМ изготовляются на пропиточной машине УПСТ-300 на основе углеродных наполнителей типа ЭЛУР, УОЛ (шириной до 300 мм) и растворных связующих.

Препрег представляет собой намотанный в рулон наполнитель, пропитанный полимерным связующим. Углеродный препрег имеет габарит: диаметр до 400 мм, длина 300 мм, масса до 15 кг.

Пропиточная машина УПСТ-300 представляет собой установку с вертикальным расположением сушильной камеры с тремя зонами сушки для удаления летучей части связующего – растворителя. Установка позволяет изготовлять препреги шириной до 300 мм из стеклоткани типа Т-10-80, углеродной ткани типа УТ-900, органической ткани СВМ.

УЧАСТОК ПО ОЧИСТКЕ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА, ИЗГОТОВЛЕНИЮ КОТОНИНА С ДАЛЬНЕЙШЕЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ЕГО В ЦЕЛЛЮЛОЗУ

Организован участок по получению компонентов из возобновляемых источников растительного сырья, в том числе льна, для теплозащитных, теплоизоляционных, текстильных и керамических материалов.

Запущена линия по очистке льняного волокна и установлено оборудование для безотходной переработки растительного сырья. Участок помимо котонина выпускает целлюлозосодержащие компоненты теплозащитных, тепло-

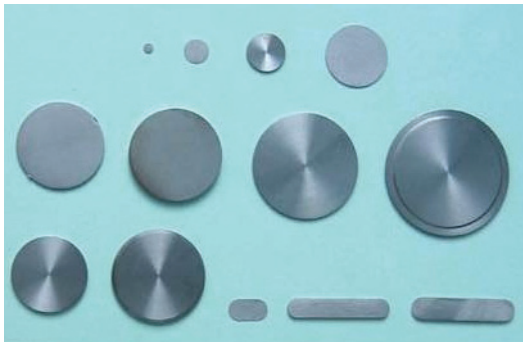
Пропиточная машина УПСТ-300

Линия по очистке льняного волокна

изоляционных, текстильных и керамических материалов, в том числе углеродные наполнители для специальных материалов.

Номенклатура материалов, выпускаемых на участке:

- котонин;
- волокно оксида алюминия;
- волокно оксида циркония;
- углеродосодержащие теплозащитные и специальные материалы;
- теплоизоляционные материалы с рабочей температурой от -170 до +2200°С.



Образцы продукции

ВЫПУСКАЕМАЯ ПРОДУКЦИЯ

ФОЛЬГА, ДИСКИ И ПЛАСТИНЫ ИЗ БЕРИЛЛИЯ

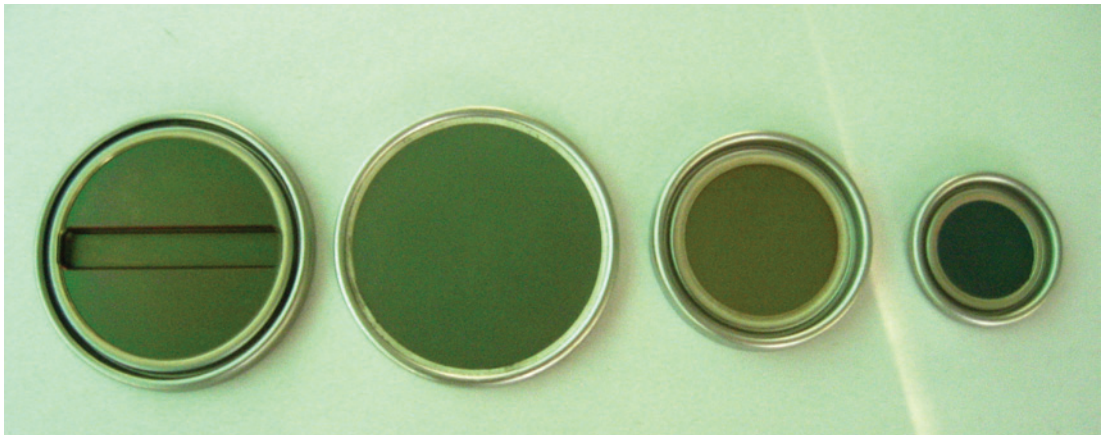
Разработаны технологии изготовления фольги толщиной ≥0,01 мм, пластин и дисков из нее, технология пайки и склеивания для изготовления окон рентгеновских трубок и приборов для научных исследований. Осуществляется поставка изделий по договорам.

ПАЯНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ БЕРИЛЛИЕВЫЕ ОКНА

Разработаны:

- уникальная технология изготовления бериллиевых пластин, фольги и паяных окон;
- технология вакуумной пайки бериллия с монелем, медью и нержавеющей сталью;
- специальные припои;
- системы защитных коррозионных покрытий.

Образцы продукции



Преимущества:

- радиационная прозрачность бериллиевой фольги в 17 раз выше, чем алюминиевой;
- герметичность паяных окон $10^{-9} \div 10^{-10}$ мбар·л/с, определяемая по натеканию гелия;
- исключается охрупчивание сварных соединений;
- термическая стойкость паяных соединений до 800°С;
- отсутствие вредного воздействия продукции из бериллия (благодаря разработанной системе защитных покрытий).

Область применения:

- медицинская техника;
- средства контроля грузов в аэропортах;
- источники и датчики рентгеновского излучения;
- дефектоскопы;
- специальная техника.

СВАРИВАЕМЫЕ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ И ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ СИСТЕМЫ Al–Be–Mg

АБМ1 – свариваемый высокопрочный алюминиевый сплав повышенной жесткости и пониженной плотности (основа – сплав типа АМг6, содержащий 30% бериллия). Технологичен при обработке давлением. Освоено производство листов (толщина – от 0,8 до 12 мм), полос, прутков, труб, прессованных профилей. Сплав обладает хорошей свариваемостью ($\sigma_{в.св}/\sigma_{в}$=0,75–0,9). Рекомендуется для применения в коррозионноопасных зонах, сварных и клепаных конструкциях, в том числе для внутреннего набора фюзеляжа самолетов, экранопланов, дирижаблей и космических летательных аппаратов, в элементах конструкций, где определяющими критериями являются высокие жесткость и удельная прочность. Применялся в виде раскосов солнечных батарей на космических станциях «Венера-8», «Венера-9». Был опробован при изготовлении конструктивных элементов для ВКС «Буран».

АБМ2 – среднепрочный алюминиевый сплав повышенной жесткости и пониженной плотности (основа – сплав типа АМг6, содержащий 20% бериллия). Технологичен при обработке давлением. Рекомендуется к применению в элементах конструкций, где определяющими критериями являются высокие жесткость и удельная прочность.

АБМ3 – высокомодульный сплав пониженной плотности (основа – сплав типа АМг6, содержащий 70% бериллия). Из всех алюминийсодержащих сплавов АБМ3 обладает наивысшей удельной жесткостью (E/d=10200 км (усл. ед.) и удельной прочностью ($\sigma_{в}/d$=27 км (усл.

ед.)). Рекомендуется для элементов конструкций, в которых определяющими критериями являются высокие жесткость и удельная прочность при температурах до 250°С.

АБМ4 – свариваемый высокопрочный алюминиевый сплав повышенной жесткости и пониженной плотности (основа – сплав типа АМг6, содержащий до 45% бериллия). Сплав обладает удовлетворительной свариваемостью ($\sigma_{в.св}/\sigma_в$= 0,7–0,8) и рекомендуется для элементов конструкций, в которых определяющими критериями являются высокие жесткость и удельная прочность при температурах до 250°С.

ВАБ-1 – среднепрочный сплав системы Al–Li–Be повышенной жесткости (содержащий до 2,8% бериллия). Технологичен при обработке давлением, применяется плакированный алюминием. Освоено производство прутков, полос, прессованных профилей, листов. Рекомендуется для деталей внутрикорпусного силового набора.

БЕРИЛЛИЙ ДЕФОРМИРОВАННЫЙ

Заготовки для деформирования (блоки) изготовляются способом порошковой металлургии – горячим прессованием в вакууме порошка с дисперсностью частиц ≤56 мкм.

В отожженном состоянии в поперечном направлении свойства блоков: $\sigma_в$≥280 МПа, δ≥0,8–1,0%.

Применяются для деталей конструкций летательных аппаратов, работающих при температурах до 500–700°С, от которых требуется повышенная жесткость в сочетании с высокой удельной прочностью или определенные физические (в том числе ядерные) свойства.

Низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) бериллия (близкий к ТКЛР стали) позволяет получать детали высокой точности с высоким качеством поверхности для использования этого металла в точных приборах.

Бериллиевая проволока диаметром 0,5–1,0 мм может применяться в качестве эффективного упрочнителя в композиционных материалах.

АЛЮМИНИЙБЕРИЛЛИЕВАЯ ЛИГАТУРА

Применяется для введения бериллия в алюминиевые и магниевые сплавы с целью:

- снижения их окисляемости;
- повышения прочностных характеристик;
- уменьшения количества неметаллических включений и плен в сплавах;
- улучшения их жидкотекучести;
- предотвращения выгорания легирующих элементов.

Образцы продукции

Образцы продукции

Технология производства лигатуры обеспечивает пониженное содержание в ней газов и оксидных включений. Поставляется в виде слитков, прутков различной длины.

БЕРИЛЛИЕВАЯ БРОНЗА, МЕДНО-БЕРИЛЛИЕВАЯ ЛИГАТУРА

Область применения:

- изготовление упругих элементов контактов, искробезопасных подшипников и других деталей.

Преимущества:

- не искрит при ударах;
- немагнитна;
- морозостойкая;
- высокая коррозионная стойкость;
- высокие механические свойства и теплофизические характеристики.

ИЗДЕЛИЯ ИЗ БЕРИЛЛИЯ (ОПТИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛА, ТОРМОЗА, ПЛАТФОРМЫ, ГИРОСКОПЫ)

Область применения:

- тормозные диски и рамки остекления кабины фюзеляжа авиационно-космических систем;
- зеркала для оптических систем;
- детали навигационных приборов.

Разработаны:

- сорт бериллия (ТШГТ) для изготовления тормозных дисков;
- технологии механической обработки;

- технологии термообработки и пайки крупногабаритных (диаметр 1200 мм) зеркал;
- защитные антикоррозионные покрытия и технология их нанесения;
- технологии нанесения износостойких покрытий на основе карбида кремния;
- проведены успешные испытания в составе ВКС «Буран».

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ БЕРИЛЛИЯ И БЕРИЛЛИЕВЫХ СПЛАВОВ

Основываясь на приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, стратегиях развития интегрированных структур и государственных корпораций, а также на мировых тенденциях развития материалов и технологий, в ФГУП «ВИАМ» разработаны «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030» (включают 18 направлений, 71 комплексную проблему, 10 инновационных концептов), которые одобрены 114 экспертами от 80 организаций различных отраслей. В ВЭТЦ ВИАМ предусмотрены работы в рамках трех направлений: слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы; легкие, высокопрочные, коррозионностойкие, свариваемые сплавы и стали; энергоэффективные, ресурсосберегающие и аддитивные технологии получения деталей, полуфабрикатов и конструкций – по четырем комплексным проблемам:

- Создание высокомодульных биметаллов (бериллий/титан и АБМ/титан) с повышенным в 1,5 раза модулем упругости (до 170 ГПа) пониженной в 1,3 раза плотностью ($d \leq 3{,}2$ г/см^3).
- Создание новых бериллийсодержащих сплавов с уровнем свойств: $d=2{,}5$ г/см^3, $E=88$ ГПа, $\delta=16$ % – для усиливающих конструкций авиационно-космической техники: элеронов, интерцепторов, стабилизаторов, подкосов крыла, раскосов для ферменных конструкций, панелей со стрингерами, трансмиссионных валов.
- Создание новых высокопрочных бериллийсодержащих сталей для приборов и агрегатов, работающих во всеклиматических условиях от -196 до +450°С.
- Разработка технологии соединения вакуум-плотных бериллиевых окон толщиной ≤ 150 мкм с рамками из нержавеющей стали, меди и монеля.

ВЭТЦ ВИАМ ПРИГЛАШАЕТ ОРГАНИЗАЦИИ К СОТРУДНИЧЕСТВУ ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ БЕРИЛЛИЙ

Изготовление:

- тормозных дисков;
- рамок остекления;
- рентгеновских паяных окон (выходные окна рентгеновской аппаратуры, входные окна детекторов излучений, защитные окна в рентгенолитографии, узлы регистрации и вывода пучков излучения в исследовательских установках);
- пластин, дисков и тонких вакуум-плотных фольг толщиной более 10 мкм;
- бериллиевой и бронзовой проволоки;
- полуфабрикатов и изделий из бериллия в оптических зеркалах;
- деталей гироскопических приборов.

СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ БЕРИЛЛИЯ

- разработка и исследование новых видов сплавов;
- выпуск изделий из сплава типа АБМ (подкосы, валы, стрингеры, усиливающие панели).

ЛИГАТУРЫ

Изготовление:

- алюминийбериллиевой (АБ1, АБ2);
- медно-бериллиевой МБ1.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ БРОНЗ МАРОК БрБ2,5; БрБ2; БрБНТ1,9; БрБНТ1,7 и др.

БЕРИЛЛИЙСОДЕРЖАЩИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

- изготовление прутков диаметром 12–60 мм из жаропрочной бериллийсодержащей коррозионностойкой стали марки ВНС-32ВИ;
- изготовление ленты из бериллийсодержащего сплава 97НЛ-ВИ.

ВОСКРЕСЕНСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Под общей редакцией академика РАН Е.Н. Каблова

Ответственный за выпуск буклета к.т.н. В.В. Антипов

Составители:

В.Н. Илюшин
В.С. Каськов
А.В. Тебякин
А.Н. Фоканов

Редакционная группа:

Е.А. Аграфенина
М.С. Закржевская
Н.В. Савельева
И.С. Туманова

Оформление:

А.В. Андросенко
Л.Б. Ковтун
А.К. Кривушин
Э.Х. Намазова
Д.С. Трушин
Е.А. Цилин

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

105005, Москва, ул. Радио, 17
телефон: (499) 263-86-46, факс: (499) 267-86-09,
e-mail: admin@viam.ru